青藏高原地区牦牛鲜奶和酸奶营养价值及微生物组成

杨　超[1,2]　丁学智[3]　龙瑞军[2,4*]

（1.兰州大学草地农业科技学院，草地农业生态系统国家重点实验室，兰州　730020；2.兰州大学青藏高原生态系统管理国际中心，兰州　730000；3.中国农业科学院兰州畜牧与兽药研究所，兰州　730050；4.兰州大学生命科学学院，兰州　730000）

摘　要：牦牛奶以营养价值高著称，其中含有丰富的蛋白质、脂肪、必需氨基酸、不饱和脂肪酸、维生素以及矿物质元素，是青藏高原地区牧民赖以生存的基础奶源，同时也是牧民的主要经济来源之一。牦牛酸奶具有更高的营养价值、独特的风味和口感以及多种益生功能，因此被广大牧民青睐。本文主要综述了青藏高原地区牦牛鲜奶和传统发酵牦牛酸奶中营养成分、微生物组成以及其抗氧化特性、降胆固醇特性等益生功能方面的研究，充分揭示传统发酵牦牛酸奶的营养价值及其对维系牧民健康的重要作用，为后续牦牛奶及奶制品的深入研究提供参考资料。

关键词：牦牛鲜奶；牦牛酸奶；营养价值；微生物组成；益生功能

中图分类号：S823

牦牛是青藏高原地区的主要畜种，其生产的牦牛奶占青藏高原地区牛奶消费量的 90%，占全国牛奶消费量的 15%，是藏族人民赖以生存的奶源和主要的经济来源[1]。相比其他牛奶，牦牛奶中脂肪、蛋白质、乳糖、维生素和必需氨基酸含量高，脂肪酸种类多，胆固醇含量较低，还具有一定的抗氧化能力，被誉为“奶中极品”[2]。除直接食用鲜奶外，藏民们还用传统方法将牦牛奶加工成奶茶、生黄油、奶酪以及酸奶，其中牦牛酸奶由于发酵后具有更佳的风味和口感而被更多地食用。牦牛奶经发酵后，在微生物的作用下其营养成分含量除乳糖外基本保持不变，而乳糖被转化为乳酸、有机酸和乙醇，使酸奶 pH 降低。在发酵过程中，由于青藏高原地带特殊的气候条件，酸奶中微生物组成也极为特殊。有研究表明，发酵牦牛酸奶中存在大量的乳酸菌和酵母菌，其中有益乳酸菌主要为乳酸杆菌[3]。Ding 等[4]在牦牛酸奶中分离筛选出了植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)Lp3，并将此菌株注入到饲喂高胆固醇

收稿日期：2017-09-28
基金项目：国家自然基金国际合作重大项目（3141101090）；国家自然基金面上项目（31672453）；国际原子能机构协调研究项目（D31029-20769/R0）
作者简介：杨　超（1992-），男，甘肃酒泉人，硕士研究生，从事牦牛营养研究。E-mail: yangch15@lzu.edu.cn
*通信作者：龙瑞军，教授，博士生导师，E-mail: longrj@lzu.edu.cn

食物的小鼠体内，其血清中胆固醇降解率达到 73.3%。由此可见，牦牛奶不仅能提供人们所必需的蛋白质、脂肪、脂肪酸、氨基酸、维生素等营养物质，其酸奶中的益生菌在一定程度上更有利于人体健康。尽管牦牛奶在藏族地区被广泛食用，但由于受到青藏高原地区的交通状况、不同地区人们的生活习惯等因素的影响，其仍旧没有被大范围投放到东部发达地区市场。未来牦牛奶制品的推广将会极大地增加藏族人民的收入，带动青藏高原地区经济的发展，同时可以让更多的奶制品消费者感受到牦牛奶制品带来的高营养价值和益生功效。本文从牦牛鲜奶和酸奶的营养成分、微生物组成以及益生功能等方面进行综述，以期为后续牦牛奶制品的深入研究提供参考依据。

1 牦牛鲜奶和酸奶中营养成分

1.1 牦牛鲜奶

牦牛鲜奶中各类营养成分的含量会受到泌乳时期、品种以及营养状况等的影响。牦牛初乳中蛋白质、脂肪和总氨基酸含量分别为 5.43%、5.70%和 4.485%，显著高于常乳（4.84%、4.57%和 3.065%），同时初乳中苯丙氨酸、甲硫氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸等人体的必需氨基酸以及儿童生长发育必需氨基酸组氨酸含量均高于常乳[5]。甘肃省天祝县乌鞘岭地区牦牛初乳（产后 24 h 内）中蛋白质、脂肪、乳糖、粗灰分含量分别达到 9.86%、7.89%、3.28%、1.21%，维生素 A、维生素 E、维生素 C 以及β胡萝卜素含量均在产后 24 h 内达到最高值，并随泌乳时间推移逐渐降低，但乳糖含量出现上升趋势[6]。Cui 等[7]分别对产后 1~7 d 的牦牛奶进行分析后发现，各类氨基酸含量随着时间的推移逐渐降低，不饱和脂肪酸含量逐渐下降，但必需氨基酸所占比例升高。由此可见，牦牛奶中营养成分会受到泌乳时期的影响，随着泌乳时间的推移，产奶量逐渐增加，各类营养物质的含量逐渐降低，但是必需氨基酸所占比例上升。He 等[8]对甘肃省麦洼乡、中甸县、甘南藏族自治州牦牛以及麦洼乡牦牛×黄牛、甘南藏族自治州牦牛×黄牛 2 个杂交品种的鲜奶日产量和营养成分进行测定后发现，上述牦牛杂交品种的 4%乳脂校正乳（fat corrected milk,FCM）即标准乳产量显著高于麦洼乡、中甸县、甘南藏族自治州牦牛的平均产量，且其奶中脂肪、蛋白质、乳糖、粗灰分含量无显著差异。此外，中甸县牦牛鲜奶中多不饱和脂肪酸含量达到 4.82%，高于麦洼乡牦牛（3.99%）和甘南藏族自治州牦牛（3.68%），亚麻酸和共轭亚油酸（conjugated linoleic acids,CLA）含量也高于二者。Guo 等[9]报道，牦牛鲜奶中干物质、脂肪、蛋白质、乳糖和粗灰分含量分别

为 157~184 g/kg、55~86 g/kg、42~64 g/kg、33~58 g/kg 和 4~9 g/kg，而在荷斯坦奶牛鲜奶中分别为 114~120 g/kg、25~35 g/kg、30~35 g/kg、45~50 g/kg 和 7 g/kg[10-11]，其中牦牛鲜奶中干物质、脂肪和蛋白质含量显著高于荷斯坦奶牛。牦牛鲜奶中干物质、脂肪、非脂肪固形物、蛋白质和乳糖含量均高于奶牛、骆驼和山羊，粗灰分含量相近。奶中脂肪和蛋白质含量是评价牛奶品质的 2 项重要指标，牦牛鲜奶中脂肪和蛋白质含量显著高于奶牛、骆驼和山羊，表明其品质也优于后三者（表 1）。

表 1　牦牛和其他哺乳动物鲜奶中营养成分含量

Table 1　Nutrient component contents of fresh milk of yak and other mammalians　　%

项目 Items	牦牛 Yak[8]	奶牛 Cow[12]	骆驼 Camel[12]	山羊 Goat[13]
干物质 Dry matter	17.1	13.3	13.2	12.1
脂肪 Fat	6.5	4.0	4.5	3.8
非脂肪固体 Solids-non-fat	10.4	9.0	8.6	8.9
蛋白质 Protein	4.6	3.4	3.5	3.4
乳糖 Lactose	5.2	4.8	4.4	4.1
粗灰分 Ash	0.8	0.7	0.8	0.8

牦牛奶中脂肪酸含量随着季节而变化，9 月牦牛奶中饱和脂肪酸（saturated fatty acid,SFA）含量（58.63%）显著低于 3 月（61.77%）、7 月（62.30%）和 11 月（64.92%），单不饱和脂肪酸（monounsaturated fatty acid,MUFA）和多不饱和脂肪酸（polyunsaturated fatty acid,PUFA）含量也在 9 月最高，分别达到 33.90%和 7.33%[14]。由于青藏高原地区特殊的生态环境，牧草生长期仅有短短的 90~120 d，其中 7 月牧草生物量最高，9 月牧草品质最好，11 月牧草开始进入枯黄期，因此，9 月牧草的高营养品质显著提高了奶中脂肪酸含量。Bett 等[15]研究发现，荷斯坦奶牛奶中 SFA、MUFA 和 PUFA 含量分别为 62.09%、26.16%、4.81%，显著低于牦牛在营养状况良好时的各类脂肪酸含量。Cui 等[16]对生活在不同海拔的牦牛奶样进行分析后发现，随着海拔升高，奶中 SFA、MUFA 和 PUFA 含量也随之升高，其含量均高于商品化牛奶。在牦牛奶中，每千克脂肪中 CLA 含量达到 21.7 g，是黄牛和绵羊的 2 倍，是山羊奶的 3 倍[17]。CLA 能够有效防止癌症和糖尿病的发生，同时还有减少体内脂肪沉积、防止动脉粥样硬化以及增强免疫功能的作用[18]。牦牛和其他哺乳动物奶中维生素含量见表 2。牦牛奶中维生素 C 和维生素 E 含量较高，一定程度上决定了牦牛奶具有较强的抗氧化能力，维生素 A 和维生素 D 含量显著高于奶牛奶，完全满足人类对于维生素的日常需要量，因此

藏民们很少表现出维生素缺乏现象。张西洲等[19]研究发现，生活在海拔 4 300 m 的藏民血液中维生素 C 和维生素 E 的含量显著高于汉族人，这可能是由于藏民饮用牦牛奶时，高含量的维生素 C 和维生素 E 同时被摄入。而维生素 C 和维生素 E 具有抗氧化作用，饮用牦牛奶可以增加机体的抗氧化能力。此外，牦牛奶中矿物质元素含量丰富，钙、磷、铁、锌、锰以及微量元素银、铬和镉的含量均显著高于市售商品奶。

表 2　牦牛和其他哺乳动物鲜奶中维生素含量

Table 2　Contents of vitamins of fresh milks of yak and other mammalians　　μ g/kg

项目 Items	牦牛 Yak[20]	奶牛 Cow[13]	山羊 Goat[13]	绵羊 Sheep[13]
维生素 B_1 Vitamin B_1	347.1	450.0	680.0	800.0
维生素 B_2 Vitamin B_2	1 799.6	1 600.0	2 100.0	3 760.0
维生素 B_3 Vitamin B_3	3 455.9	800.0	2 700.0	4 160.0
维生素 B_5 Vitamin B_5	848.4	3 200.0	3 100.0	4 080.0
维生素 B_6 Vitamin B_6	474.8	420.0	460.0	800.0
维生素 A Vitamin A	444.6	378.0	555.0	438.0
维生素 C Vitamin C	34 460.0	9 400.0	12 900.0	41 600.0
维生素 D Vitamin D	39.5	0.5	0.6	1.8
维生素 E Vitamin E	985.2	1 000.0	—	—

1.2　牦牛酸奶

传统发酵工艺制成的牦牛酸奶具有独特的风味和口感，其营养价值更高。青藏高原地区传统发酵牦牛酸奶中干物质、脂肪、蛋白质、乳糖、粗灰分含量和能量分别为 143.0、53.7、54.4、23.4、8.6 g/L 和 4.21 MJ/kg。与鲜奶相比，牦牛酸奶中大部分营养成分含量基本保持不变，但脂肪和乳糖含量显著降低，是由于在微生物发酵过程中，脂肪被微生物分解为脂肪酸，乳糖被转化为乳酸、乙酸和乙醇等，pH 降低。奶牛酸奶中干物质、脂肪、蛋白质、乳糖、粗灰分含量和能量分别为 123.0、38.5、34.7、34.2、8.0 g/L 和 3.01 MJ/kg，其中干物质、脂肪、蛋白质和粗灰分含量以及能量均低于牦牛酸奶，而乳糖含量显著高于牦牛酸奶（表 3）。人体内乳糖酶的含量较少，在亚洲地区乳糖不耐受人群较多，其体内不能合成乳糖酶，如果大量摄入乳糖会破坏肠道碱性环境，从而引发腹泻等不良症状[21]。而牦牛酸奶在发酵过程中会使大量乳糖分解，因此对于乳糖不耐受群体而言，牦牛酸奶比奶牛酸奶更有益于身体健康，是很好的奶制品。牦牛鲜奶与其发酵酸奶氨基酸水平相近，谷氨酸在总氨基酸中的含量最高，分别为 21.6%和 21.5%，必需氨基酸分别占总氨基酸含量的 40.9%和 40.8%[22]。与此

同时，脂肪酸组成在牦牛鲜奶与酸奶中无明显差异，可能是由于发酵过程中微生物作用对于脂肪酸组成的影响不大，仍旧保留了其不饱和脂肪酸含量较高的优点[23]。牦牛鲜奶和酸奶中维生素含量以及矿物质元素含量相似，但是维生素 A、维生素 E、维生素 C 含量均高于奶牛酸奶[3,9,16]。

表 3　牦牛鲜奶、牦牛酸奶和奶牛酸奶中营养物质含量

Table 3　Nutrient component contents of yak fresh milk, kurut and yoghurt

项目 Items	牦牛鲜奶 Yak fresh milk[24-25]	牦牛酸奶 Kurut[3,24]	奶牛酸奶 Yoghurt[3，26]
干物质 Dry matter/(g/L)	183.8	143.0	123.0
脂肪 Fat/(g/L)	71.5	53.7	38.5
蛋白质 Protein/(g/L)	50.4	54.4	34.7
乳糖 Lactose/(g/L)	49.9	23.4	34.2
粗灰分 Ash/(g/L)	8.1	8.6	8.0
能量 Energy/(MJ/L)	3.82	4.21	3.01
乳酸 Lactic acid/(g/kg)	1.7	11.1	19.3
pH	6.48	3.92	4.19

2　牦牛鲜奶和酸奶中的微生物多样性

自然发酵奶制品已经拥有很长的历史，在发酵过程中乳酸菌和酵母菌的共同作用以及一些潜藏的活性氨基酸转化酶使得发酵后的奶制品具有独特的风味和口感[27]。在奶制品中，细菌的种类较多，数量较大而且活力较强，除了常见的有益菌外还存在许多致病菌，而大部分致病菌和导致食品腐败的微生物会被自然发酵过程中乳酸菌所产的酸和抑菌物质所遏制，其数量大幅减少。自然发酵奶制品中，常见的乳酸菌属有乳酸杆菌属（*Lactobacillus*）、乳球菌属（*Lactococcus*）、链球菌属（*Streptococcus*）、双歧杆菌属（*Bifidobacteriu*）、明串珠菌属（*Leuconostoc*）、片球菌属（*Pediococcus*）、肠球菌属（*Enterococcus*）、魏斯氏菌属（*Weissella*）[28-30]。

2.1　牦牛鲜奶

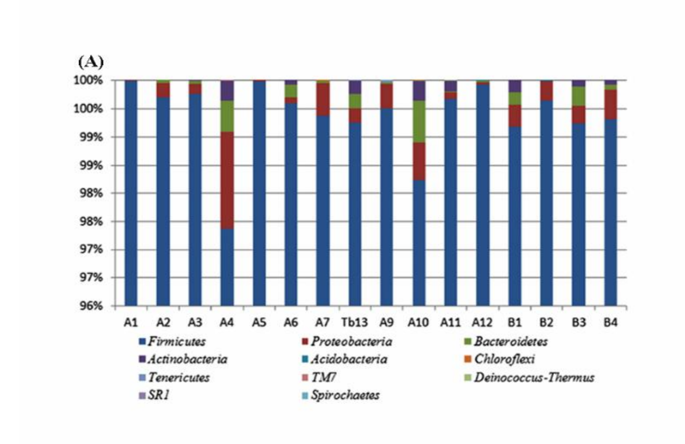
由于藏区生产水平比较落后，传统人工挤奶方式收集的牦牛生鲜奶中大肠杆菌和金黄色葡萄球菌数量多余其酸奶，而大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均为致病菌，会引起腹泻、肠炎等一系列疾病。相反，牦牛生鲜奶中有益菌（乳酸菌和酵母菌）数量较少，其含量有随海拔升高而升高的趋势[24]。因此，牦牛生鲜奶在一定程度上不适于直接饮用，其卫生状况不如牦牛酸奶。然而大量致病菌会在巴氏消毒后被杀死，也就是说商品化的牦牛鲜奶可以安全饮用。

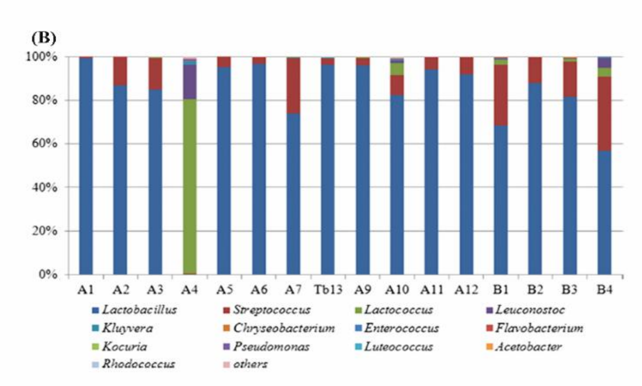
2.2　牦牛酸奶

由于青藏高原的特殊生态环境，传统发酵牦牛酸奶中微生物的组成及其数量也随之呈现出一定的特点。Zhang等[3]对青海湖地区的自然发酵牦牛酸奶进行微生物组成分析后发现，乳酸菌平均含量达到9.18 lg（CFU/mL），酵母菌含量达到8.33 lg（CFU/mL）。根据表型特征对来自西藏以及川西青藏高原牧民家的10份自然发酵牦牛酸奶进行微生物组成分析发现，10份样品中的微生物主要是乳酸菌和酵母菌，活菌数分别达到10^7和10^6 CFU/mL。随后通过纯化培养、筛选鉴定得到15珠乳酸菌，包含8株乳酸球菌和7株乳酸杆菌。同时，还分离鉴定出8株酵母菌[31]。Chen等[32]通过对比研究自然发酵牦牛酸奶和蒙古奶牛酸奶（fermented Mongolian cow milk,FMCM）发现，牦牛酸奶中乳酸菌和酵母菌数量分别达到（7.66±0.71） lg（CFU/mL）和（6.48±0.81） lg（CFU/mL），高于FMCM中的数量，使得牦牛酸奶具有一定的抗菌和抗腐败能力。Sun等[33]对青海地区的143份自然发酵牦牛酸奶样进行纯化培养和16S rRNA测序，筛选出了148株乳酸菌，其中52株属于乳酸杆菌属，96株属于乳酸球菌属，主要为德式乳杆菌保加利亚亚种和嗜热链球菌（*S. thermophilus*）。Bao等[34]利用16S RNA测序以及PCR变性梯度凝胶电泳技术对甘肃省内的玛曲县、碌曲县、夏河县等地的88份牦牛酸奶样进行筛选鉴定，得到乳酸杆菌164株（51.41%），包括瑞士乳杆菌（*Lb. helveticus*）87株、干酪乳杆菌（*Lb. casei*）31株；乳酸球菌155株（48.59%），包括嗜热链球菌39株、乳酸乳球菌乳酸亚种（*Lc. Latics* subsp. *Lactis*）19株；明串珠菌属49株，瑞士乳杆菌和嗜热链球菌数量居多。Ren等[35]使用同样的方法对内蒙古地区的38个牦牛酸奶样品进行分析，发现211株乳酸菌被鉴定到6个属以及22个种或亚种，其中117株为乳酸杆菌属（55.45%），60株为德式乳杆菌保加利亚亚种（28.43%）。Zhong等[36]对自然发酵的牦牛奶和奶牛酸奶进行16S RNA多样性分析后发现，牦牛酸奶中微生物多样性Shannon和Simpson指数均高于奶牛的酸奶（2.35 vs. 2.20和0.69 vs. 0.62），表明牦牛酸奶中微生物群落多样性要高于奶牛酸奶。牦牛酸奶中78.44%菌株属于乳酸杆菌属，14.08%属于链球菌属；而在奶牛酸奶中64.69%菌株属于乳酸杆菌属，14.62%属于乳球菌属，10.29%属于链球菌属。

近年来，高通量测序也被用来研究自然发酵牦牛酸奶中微生物群落多样性。研究表明，使用高通量焦磷酸测序发现了112 173个高质量细菌和90 980个高质量真菌16S RNA基因序列。经过对测序结果分析，细菌被划分到11个门下（图1）而真菌被划分到5个门下（图2），

主要是厚壁菌门（Firmicutes）和变形菌门（Ascomycota）。经过冗余分析（redundancy analysis,RDA）49个运算分类单元（operational taxonomic unit,OTU）被鉴定，主要划分为不动杆菌属（*Acinetobacter*）、未识别的拟杆菌门（unidentified Bacteroidetes）、乳酸杆菌属、未知变形菌门（unidentified Proteobacteria）、链球菌属、泛菌属（*Pantoea*）、未知厚壁菌门（unidentified Firmicutes）、丙酸菌属（*Propionibacterium*）、乳球菌属、明串珠菌属和肠菌属[37]。Liu等[38]对奶牛酸奶进行高通量测序发现，被鉴定的真菌和细菌大多属于厚壁菌门和子囊菌门，在属水平上细菌和真菌主要分为乳酸杆菌属和毕赤酵母属（*Pichia*）。综上，牦牛酸奶中微生物组成随着地理位置、海拔、品种等因素发生变化，其与奶牛酸奶中微生物多样性指数以及分类差异也较大，微生物组成上的差异可能在一定程度上决定了其抗氧化、降胆固醇等益生功能。

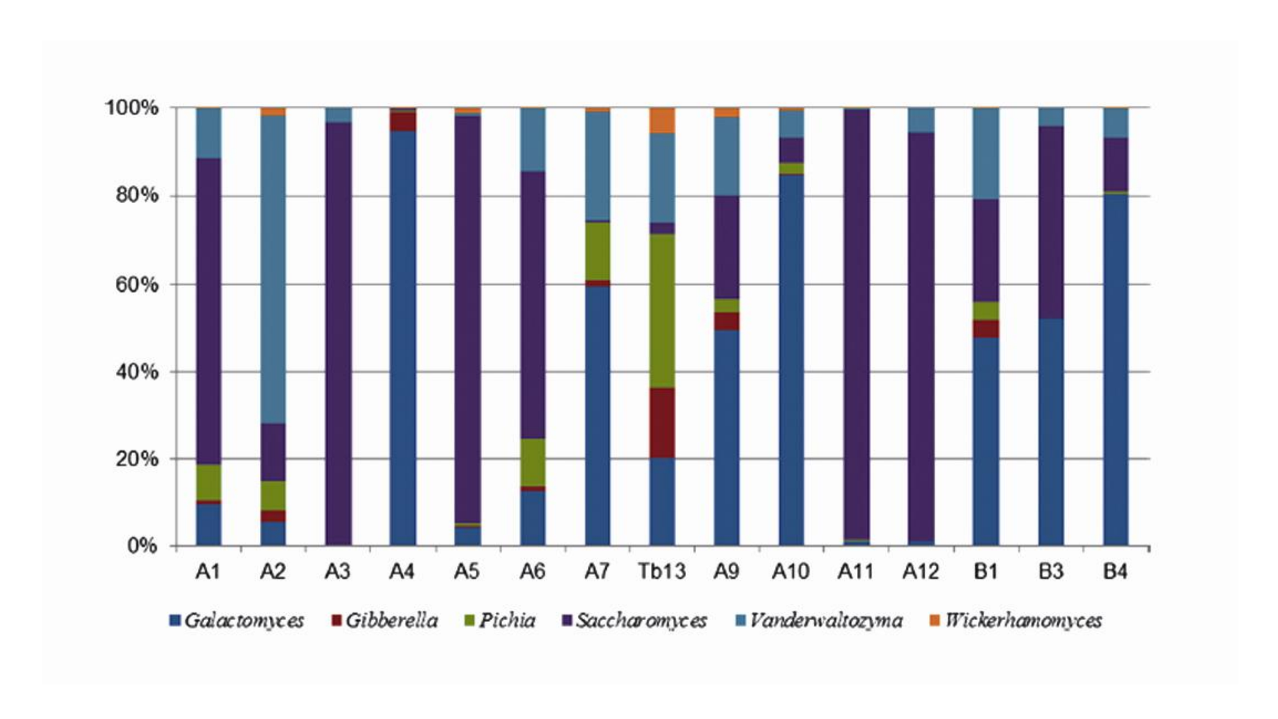




Firmicutes：厚壁菌门；Proteobacteria：变形菌门；Bacteroidetes：拟杆菌门；Actinobacteria：放线菌门；Acidobacteria：酸杆菌门；Chloroflexi：绿弯菌门；Tenericutes：软壁菌门；Deinococcus-Thermus：异常球菌-栖热菌门；Spirochaetes：螺旋体门；Lactobacillus：乳酸杆菌属；*Streptococcus*：链球菌属；*Lactococcus*：乳球菌属；*Leuconostoc*：明串珠菌属；*Kluyvera*：克鲁维菌属；*Chryseobacterium*：金黄杆菌属；*Enterococcus*：肠球菌属；*Flavobacterium*：黄杆菌属；*Kocuria*：考克氏菌属；*Pseudomonas*：假单胞菌属；*Luteococcus*：黄球菌属；*Acetobacter*：醋菌属；*Rhodococcus*：红球菌属。

图1　牦牛酸奶中细菌在门（A）和属（B）水平的相对丰度

Fig.1　Relative abundance of bacteria of kurut at phylum (A) and genus levels (B)[37]



Galactomyces：耐碱酵母属；*Gibberella*：赤霉菌属；*Pichia*：毕赤酵母属；*Saccharomyces*：酵母属；*Vanderwaltozyma*：范氏酵母属；*Wickerhamomyces*：威克汉姆酵母属。

图2　牦牛酸奶中真菌在属水平的相对丰度

Fig.2　Relative abundance of fungi of kurut at genus level[37]

3　牦牛酸奶的益生功能

乳酸菌的益生作用近年来备受人们的关注。研究发现，酸奶是益生菌最好的来源，其中只有某些特殊的乳酸菌才具有益生功效[39]。食品中的益生菌对人体有抗氧化、改善胃肠道功能、减少血液中胆固醇含量以及改善肠道免疫功能等益生作用[40]。当机体受到外界环境的刺激，如低压、寒冷、强紫外线以及过强酸或碱等，会造成活性氧分子（reactive oxygen species,ROS）的大量聚集，体内的蛋白质、脂类和核酸会因此受到一定伤害，造成细胞老化和死亡。与此同时，机体内会产生超氧化物歧化酶（superoxide dismutase,SOD）、谷胱甘肽过氧化酶（glutathione peroxidase,GSH-Px）以及过氧化氢酶（catalase,CAT）等酶类组成抗氧化防御系统来减缓 ROS 对机体的损伤[41]。大量研究表明，某些乳酸菌具有抗氧化能力，高原地区自然发酵奶制品中存在高抗氧化能力的乳酸菌资源，能够通过调节体内抗氧化系统使其保持还原稳定性[42-44]。川西青藏高原地区自然发酵牦牛酸奶中乳酸菌株对超氧阴离子（·O_2^-）的清除率最高达 58.8%，抗脂质过氧化率 67.3%，1,1-二苯基-2-三硝基苯肼（1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl,DPPH）自由基清除率达到 48.6%。Ding 等[45]报道，从青藏高

原自然发酵牦牛酸奶中的403株乳酸菌筛选出9株不同种类的具有高活性DPPH自由基清除能力的乳酸菌，其中德式乳杆菌保加利亚亚种F17具有最强的自由基清除能力（清除59%羟自由基和54%超氧阴离子）和高的存活率（58%）。将此菌株注入被*D*-半乳糖诱导的衰老小鼠后，其肝脏和血清中GSH-Px活性以及血清和大脑中SOD活性显著升高。

随着人类膳食结构的变化，肉类已经成为餐桌上必不可少的食物，而肉中胆固醇含量较高，大量摄入会使血脂升高，随之带来的是一系列诸如动脉阻塞等的心血管疾病。牦牛奶中脂肪含量高达6.5%，胆固醇含量高达220 mg/kg，然而藏民的心血管疾病发病率却很低。研究发现，自然发酵牦牛酸奶中乳酸菌具有降胆固醇的功效，可分离出72株水溶性胆固醇降解率较高的乳酸菌株，其中水溶性胆固醇降解率达90%~95%的乳酸菌27株，占37.5%，水溶性胆固醇降解率达80%~90%的乳酸菌30株占41.6%，还有1株水溶性胆固醇降解率高达96.26%[46]。Ding等[4]从自然发酵牦牛酸奶中筛选出1株胆固醇降解率及存活率较高的植物乳杆菌，并将其注入饲喂高胆固醇水平饲粮的小鼠体内，小鼠血清和肝脏中胆固醇和甘油三酯含量显著降低，肝细胞中脂肪沉积较少，其胆固醇降解率达到73.3%。

4 小 结

牦牛奶含有丰富的脂肪、蛋白质、维生素、氨基酸以及不饱和脂肪酸，其酸奶中还有丰富的益生乳酸菌，不仅能够满足人们的营养需要，还能够发挥抗氧化以及降胆固醇的益生功能。但是，由于牦牛泌乳周期较短，其泌乳量相较于奶牛较低，加之牦牛奶制品加工企业少使得牦牛奶在市场上的流通量较小，其市场推广会受到很大影响。因此，在保证足够营养物质供应的前提下，利用传统遗传育种以及现代分子标记辅助育种技术或许可以改善牦牛产奶量低、泌乳天数短的现状，保证足够的奶源供应来满足当前的市场需求，进一步扩大牦牛奶及奶制品的市场规模。目前对于牦牛酸奶中的微生物多样性研究较多，但对于其中益生菌的益生作用研究较少。对于发现的一些抗氧化能力强、胆固醇降解率高的菌株还需进一步体内试验验证，筛选出体内降解率及存活率同样较高的菌株来应用于产业化酸奶制作。针对益生菌对体内肠道微生物组成的生物调节以及免疫功能的影响和作用机理也需进一步探究。

参考文献:

[1] LONG R J,ZHANG D G,WANG X,et al.Effect of strategic feed supplementation on productive and reproductive performance in yak cows[J].Preventive Veterinary

Medicine,1999,38(2/3):195–206.

[2] LI H M,YING M,LI Q M,et al.The chemical composition and nitrogen distribution of Chinese yak (Maiwa) milk[J].International Journal of Molecular Sciences,2011,12(8):4885–4895.

[3] ZHANG H P,XU J,WANG J G,et al.A survey on chemical and microbiological composition of kurut,naturally fermented yak milk from Qinghai in China[J].Food Control,2008,19(6):578–586.

[4] DING W R,SHI C,CHEN M,et al.Screening for lactic acid bacteria in traditional fermented Tibetan yak milk and evaluating their probiotic and cholesterol-lowering potentials in rats fed a high-cholesterol diet[J].Journal of Functional Foods,2017,32:324–332.

[5] GUO X,CHU M,PEI J,et al.Chemical compositions and nutrients profiling of yak milk in chinese Qinghai-Tibetan Plateau[J].Journal of Animal and Veterinary Advances,2015,14(10):315–319.

[6] MI J D,ZHOU J W,DING L M,et al.Short communication:changes in the composition of yak colostrum during the first week of lactation[J].Journal of Dairy Science,2016,99(1):818–824.

[7] CUI N,WEN P C,LIANG Q,et al.Chemical composition of yak colostrum and transient milk[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2015,99(5):825–833.

[8] HE S H,MA Y,WANG J Q,et al.Milk fat chemical composition of yak breeds in China[J].Journal of Food Composition and Analysis,2011,24(2):223–230.

[9] GUO X S,LONG R J,KREUZER M,et al.Importance of functional ingredients in yak milk-derived food on health of Tibetan nomads living under high-altitude stress:a review[J].Critical Reviews in Food Science and Nutrition,2014,54(3):292–302.

[10] BETT V,OLIVEIRA M D S D,MATSUSHITA M,et al.Effects of sunflower oilseed supplementation on fatty acid profile and milk composition from Holstein cows[J].Acta Scientiarum-Animal Sciences,2004(1):95–101.

[11] KHORASANI G R,OKINE E K,KENNELLY J J.Effects of substituting barley grain with corn on ruminal fermentation characteristics,milk yield,and milk composition of Holstein cows[J].Journal of Dairy Science,2001,84(12):2760–2769.

[12] NIKKHAH A.Science of camel and yak milks:human nutrition and health perspectives[J].Food and Nutrition Sciences,2011,2(6):667–673.

[13] PARK Y W,JUÁREZ M,RAMOS M,et al.Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk[J].Small Ruminant Research,2007,68(1/2):88–113.

[14] DING L M,WANG Y P,KREUZER M,et al.Seasonal variations in the fatty acid profile of milk from yaks grazing on the Qinghai-Tibetan plateau[J].Journal of Dairy Research,2013,80(4):410–417.

[15] NEVES C A,SANTOS G T,MATSUSHITA M,et al.Intake,whole tract digestibility,milk production,and milk composition of Holstein cows fed extruded soybeans treated with or without lignosulfonate[J].Animal Feed Science and Technology,2007,134(1/2):32–44.

[16] CUI G X,YUAN F,DEGEN A A,et al.Composition of the milk of yaks raised at different altitudes on the *Qinghai*–Tibetan Plateau[J].International Dairy Journal,2016,59:29–35.

[17] JAHREIS G,FRITSCHE J,MÖCKEL P,et al.The potential anticarcinogenic conjugated linoleic acid,*cis*-9,*trans*-11 C18:2,in milk of different species:cow,goat,ewe,sow,mare,woman[J].Nutrition Research,1999,19(10):1541–1549.

[18] BENJAMIN S,SPENER F.Conjugated linoleic acids as functional food:an insight into their health benefits[J].Nutrition and Metabolism,2009,6(1):36.

[19] 张西洲，崔建华，陈占诗,等.海拔 4 300m 世居藏族和移居汉族青年氧自由基代谢对比研究[J]. 高原医学杂志,2000(2):9–11.

[20] 常海军.不同放牧条件对白牦牛奶中维生素含量的影响研究[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2007.

[21] CURRY A.Archaeology:the milk revolution[J].Nature,2013,500(7460):20–22.

[22] 彤豪峰,谈重芳,李宗伟,等.青海湖区牦牛奶制品的微生物区系和营养成分的初步研究[J].食品工业科技,2008,29(7):225–227.

[23] 金素钰,龚卫华,杨明,等.家庭自制牦牛酸奶中脂肪酸组成的分析[J].西南民族大学学报:自然科学版,2007,33(4):794–796.

[24] WU X H,ZHANG L,LI Y,et al.A survey on composition and microbiota of fresh and

fermented yak milk at different Tibetan altitudes[J].Dairy Science and Technology,2009,89(2):201–209.

[25] PARK Y W,HAENLEIN G F W.Yak milk[M].[S.l.]:Blackwell Publishing Professional,2008:345–353.

[26] CIVARDI G,CATTANEO T M P,ORLANDI M,et al.Yoghurt fermentation trials utilizing mare milk:comparison with cow milk[J].Italian Journal of Animal Science,2011,2(Suppl.1):598.

[27] WOUTERS J T M,AYAD E H E,HUGENHOLTZ J,et al.Microbes from raw milk for fermented dairy products[J].International Dairy Journal,2002,12(2/3):91–109.

[28] SMITH J.Technology of reduced-additive foods[J].International Journal of Food Science and Technology,2004,40(5):572–574.

[29] COGAN T M,ACCOLAS J P.Dairy starter cultures[M].New York:Wiley-Interscience,1995:10–15.

[30] AO X,ZHANG X,ZHANG X,et al.Identification of lactic acid bacteria in traditional fermented yak milk and evaluation of their application in fermented milk products[J].Journal of Dairy Science,2012,95(3):1073–1084.

[31] 李银聪.自然发酵酸牦牛奶的微生物区系及其抗氧化活性研究[D].硕士学位论文.重庆:西南大学,2011.

[32] CHEN Y,SUN T,WANG J,et al.Comparison of nutrition and microbiological compositions between two types of fermented milk from Tibet in China[J].International Journal of Food Sciences and Nutrition,2009,60(Suppl.7):243–250.

[33] SUN Z H,LIU W J,GAO W,et al.Identification and characterization of the dominant lactic acid bacteria from kurut:the naturally fermented yak milk in *Qinghai*,China[J].The Journal of General and Applied Microbiology,2010,56(1):1–10.

[34] BAO Q H,LIU W J,YU J,et al.Isolation and identification of cultivable lactic acid bacteria in traditional yak milk products of Gansu Province in China[J].The Journal of General and Applied Microbiology,2012,58(2):95–105.

[35] REN Y,YANG Y R,ZHANG D L,et al.Diversity analysis and quantification of lactic acid

bacteria in traditionally fermented yaks’ milk products from Tibet[J].Food Biotechnology,2017,31(1):1–19.

[36] ZHONG Z,HOU Q,KWOK L,et al.Bacterial microbiota compositions of naturally fermented milk are shaped by both geographic origin and sample type[J].Journal of Dairy Science,2016,99(10):7832–7841.

[37] LIU W J,XI X X,SUDU Q,et al.High-throughput sequencing reveals microbial community diversity of Tibetan naturally fermented yak milk[J].Annals of Microbiology,2015,65(3):1741–1751.

[38] LIU W J,ZHENG Y,KWOK L Y,et al.High-throughput sequencing for the detection of the bacterial and fungal diversity in Mongolian naturally fermented cow’s milk in Russia[J].BMC Microbiology,2015,15(1):45.

[39] LIONG M T.Probiotics:biology,genetics and health aspects[M].Berlin Heidelberg:Springer,2011:20–25.

[40] LEROY F,DE Vuyst L.Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry[J].Trends in Food Science and Technology,2004,15(2):67–78.

[41] KULLISAAR T,ZILMER M,MIKELSAAR M,et al.Two antioxidative lactobacilli strains as promising probiotics[J].International Journal of Food Microbiology,2002,72(3):215–224.

[42] AYENI F A,SÁNCHEZ B,ADENIYI B A,et al.Evaluation of the functional potential of *Weissella* and *Lactobacillus* isolates obtained from Nigerian traditional fermented foods and cow's intestine[J].International Journal of Food Microbiology,2011,147(2):97–104.

[43] ZHANG Y P,LI Y.Engineering the antioxidative properties of lactic acid bacteria for improving its robustness[J].Current Opinion in Biotechnology,2013,24(2):142–147.

[44] ZHANG Y,DU R T,WANG L F,et al.The antioxidative effects of probiotic Lactobacillus casei Zhang on the hyperlipidemic rats[J].European Food Research and Technology,2010,231(1):151–158.

[45] DING W R,WANG L N,ZHANG J,et al.Characterization of antioxidant properties of lactic acid bacteria isolated from spontaneously fermented yak milk in the Tibetan Plateau[J].Journal of

Functional Foods,2017,35:481–488.

[46] 张娟.青藏高原传统发酵牦牛酸奶中乳酸菌的降胆固醇及体外益生特性研究[D].硕士学位论文.兰州:兰州大学,2017.

Nutritional Value and Microbial Flora of Yak Fresh Milk and Kurut in *Qinghai*-Tibetan Plateau

YANG Chao[1,2] DING Xuezhi[3] LONG Ruijun[2,4*]

（*1. State Key Laboratory of Grassland and Agro-Ecosystems, College of Grassland Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou* 730020, *China; 2. International Center for Qinghai-Tibetan Plateau Ecosystem Management, Lanzhou University, Lanzhou* 730000*, China; 3. Lanzhou Institute of Husbandry and Pharmaceutical Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou* 730050, *China; 4. School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract: Yak milk, as the main milk source in the *Qinghai*-Tibetan plateau, served as an abundant nutrient resource in the local herdsmen's diet, which is rich in protein, fat, essential amino acids, unsaturated fatty acids, vitamins and mineral elements. Yak milk also is main income source of herdsmen. Kurut with the advantage of higher nutritional value, unique flavor and other probiotic functions, is an indispensable dairy food among the herdsmen. This paper reviewed researches on nutrient contents, microbial flora, antioxidant properties and cholesterol-lowering characteristic of yak fresh milk and kurut in *Qinghai*-Tibetan plateau, revealed nutritional value of kurut and its important effects on maintaining herders' health, for the purpose of providing references for further investigation of yak milk and its secondary products.

Key words: yak fresh milk; **kurut**; nutritional value; microbial flora; probiotic function

*Corresponding author， professor， E-mail: longrj@lzu.edu.cn （责任编辑 王智航）